

# ディスプレイの設置位置および文字入力欄の表示位置による文字入力への影響

高倉 礼<sup>1,a)</sup> 志築 文太郎<sup>2,b)</sup>

概要：ユーザは、キーボードを用いてコンピュータへ文字入力を行う時、ディスプレイと手元との間にて視線移動を行う。特にディスプレイの設置位置が高いほど視線移動によるユーザへの負荷が高くなりうる。本研究では、ディスプレイの設置位置およびディスプレイ内における文字入力欄の表示位置が文字入力へ与える影響を調査する。実験結果から、ディスプレイの設置位置による主観的作業負荷への影響が文字入力欄の表示位置による影響よりも大きいことが分かった。

## 1. はじめに

キーボードを用いたコンピュータへの文字入力において、ユーザは入力したい文字のキーの位置を確認するためにキーボードがある手元へ視線を移動しキーをタイプした後、正しく文字が入力されているかを確認するためにディスプレイへ視線を移動する。手元を確認せずにキーボードを用いてタイピングできるタッチタイピストであれば、手元とディスプレイとの間の視線移動の頻度を減らせる。ただし、タッチタイピストであっても、手とホームポジションの位置のずれを修正する時、およびホームポジションから外れたキーをタイプする時に手元とディスプレイとの間にて視線移動を行う [1]。特にデスクトップコンピュータを使用している時、ディスプレイの設置位置はラップトップコンピュータと比較して高くなり、手元とディスプレイとの間の視線移動が多くなるため、ユーザへの負荷が高くなりうる。

これまで、ディスプレイを設置する高さ（以降、設置位置）が文字入力および疲労感へ与える影響は多く調査されてきた [2], [3], [4]。しかし、設置位置だけでなくディスプレイ内における文字入力欄の高さ（以降、表示位置）も文字入力、疲労感へ影響を与える可能性がある。今回、我々は、設置位置および表示位置がそれぞれ異なる複数の条件において、ユーザに課題文をタイプさせることにより、ユーザの入力速度、余剰タイプ率、ならびに作業困難度および疲労感の評価するための指標である主観的作業負荷を調査し

た。本論文では、その調査結果から設置位置および表示位置による文字入力への影響を示し、またそれぞれの影響の大きさに基づく応用例を述べる。

本研究における貢献を以下に述べる。

- 設置位置および表示位置が異なる条件において、ユーザに課題文をタイプさせることにより、文字入力パフォーマンスおよび主観的作業負担に関するデータを得た。
- 設置位置が表示位置よりも主観的作業負荷へ与える影響が大きいことを示した。
- 設置位置および表示位置それぞれの影響の大きさに基づく応用例を示した。

## 2. 関連研究

本研究は、設置位置および表示位置による文字入力への影響を調査する研究である。したがって、ディスプレイの設置状態がユーザへ与える影響を調査した研究、およびタイピングにおけるユーザの振る舞いを調査した研究が本研究に関連する。本節ではこれらの研究に対する本研究の位置づけを述べる。

### 2.1 ディスプレイの設置状態がユーザへ与える影響の調査

これまで、ディスプレイの大きさ、設置位置および角度（ディスプレイ設置平面に垂直な方向を0度とし、奥行き方向ユーザ反対側への傾き）がユーザへ与える影響を調査する研究が多く行われてきた。

Shinら [3] は、ディスプレイが大きくなるにつれて、ユーザは遠く、低い位置かつ角度が小さいディスプレイ配置を好むことを示した。Sommerichら [2] は、ディスプレイ

<sup>1</sup> 筑波大学情報理工学学位プログラム

<sup>2</sup> 筑波大学システム情報系

<sup>a)</sup> takakura@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

<sup>b)</sup> shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

の角度が大きいほど、頸部の筋運動量が大きくなるため、ユーザが疲れやすいことを示した。また Sommerich らは非タッチタイピストがタッチタイピストよりも頸部の筋運動量が大きいことを示した。Alyami ら [4] は、ユーザの頭部、頸部および腰部の筋運動量が、デスクトップコンピュータを用いた場合と比べ、ラップトップコンピュータを用いた場合の方が大きくなることから、ラップトップコンピュータを用いた作業が疲れやすいことを示した。

これらの研究では、設置位置を含む、ディスプレイの設置状態によるユーザへの影響を調査している。本研究は設置位置に加え、ディスプレイ内における文字入力欄の表示位置によるユーザへの影響を調査する点でこれらの研究とは異なる。

## 2.2 タイピングにおけるユーザの振る舞いの調査

これまで、タイピングにおけるユーザの振る舞いを調査する研究が多く行われてきた。

Feit ら [1] は、ユーザのタイピング時の各指の動きおよび視線の動きを調査した。その結果 Feit らは、非タッチタイピストであってもタッチタイピストと同等の入力速度を達成できることを示した。また Feit らは、非タッチタイピストはキーボードとディスプレイとの間の視線移動のためにディスプレイから視線をそらす必要があるため、ディスプレイ内の情報のみに集中することが難しく、ディスプレイへの注意が必要な作業が困難であると述べた。田村ら [5] および高岡ら [6] は、タイピング学習ソフトを用いて非タッチタイピストにタイプさせることにより、非タッチタイピストの各指の動きおよび視線の動きを調査した。その結果から、田村らおよび高岡らはディスプレイとキーボードとの間の視線移動時における眼への負担が疲労感へ悪影響を与えることを示した。

これらの研究では、設置位置および表示位置が一定である。これに対して、本研究は設置位置および表示位置による文字入力への影響を調査する点でこれらの研究とは異なる。

## 3. 実験

ディスプレイの設置位置、およびディスプレイ内における文字入力欄の表示位置による文字入力への影響を調査するための実験を行った。

### 3.1 参加者

18名 (21歳–25歳, M = 22.6歳, 女性7名, 男性11名) の大学生または大学院生がボランティアで実験に参加した。実験参加者のうち6名が裸眼, 7名がメガネ, 5名がコンタクトレンズにて実験に参加した。なお, この状態で実験参加者全員がディスプレイ上に表示される文字を問



図 1: 実験にて用いたキーボード。

題なく視認できることを確認した。実験参加者は実験の前にアンケートに回答した。その結果, 実験参加者の直近1週間における1日あたりの平均タイピング時間は4.00時間 (SD = 2.22時間) であった。また, 実験参加者が日常的に用いているコンピュータはデスクトップが2名, ラップトップが16名であった。実験参加者が日常的に用いているキーボード配列は全員 Qwerty 配列であり, そのうち JIS 規格が13名, US 規格が5名であった。

### 3.2 器具

ディスプレイのサイズを Straker の研究 [7] にて取り扱われている画面サイズと同程度にするため, およびディスプレイの角度および実験参加者の顔部とディスプレイとの間の距離を計測するために, ディスプレイには加速度計および赤外線深度カメラ (TrueDepth カメラ [8]) が内蔵されている iPad Pro (Apple 社, 11-inch) を用いた。ディスプレイを固定するために, 自由に角度が調節可能なタブレットスタンド (Microsoft 社, Wedge Mobile Keyboard の付属品) を用いた。実験参加者全員が使用したことがないキーボードとして, 実験にて使用するキーボードには HHKB Professional2 Type-S (PFU 社, US 配列, 図 1) を用いた。なお, 実験参加者全員が HHKB Professional2 Type-S をこれまでに使用したことがないことを実験前に確認した。実験器具を設置した机の高さは 70.0 cm であった。実験参加者が着座する椅子の座面の高さは 37.0 cm から 45.0 cm まで可変であり, 実験前に作業のしやすい高さとなるように座面の高さを調整させた。実験参加者は平均して 41.5 cm の高さにて椅子に着座した。

### 3.3 課題および手順

実験参加者は設置位置および表示位置をそれぞれ変更した複数の条件において, ディスプレイに表示される英文をタイプする課題を行った。実験中の様子を図 2 に示す。

設置位置はキーボードが設置されている平面より高さ 0 cm, 10 cm, 20 cm の 3 条件とした。表示位置はディスプレイの表示範囲下端より高さ 0 cm, 10 cm, 20 cm の 3 条件とした。設置位置は実験中高さ 10 cm の台を重ねることで調整された。例として, 設置位置が 20 cm かつ表示位



図 2: 実験中の様子.

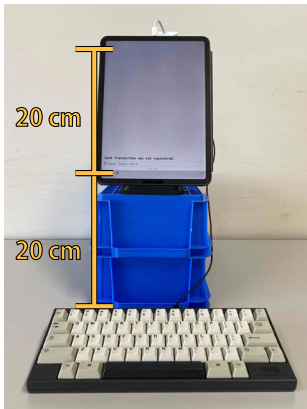


図 3: ディスプレイ設置位置が 20 cm, ディスプレイ内の文字入力欄の表示位置が 0 cm の時の実験環境.



図 4: ディスプレイの角度  $\theta$  の定義. 奥行き方向ユーザ反対側への傾きを  $\theta$  とし, ディスプレイ設置平面に垂直な状態を 0 度とする.

置が 0 cm の時の実験環境を図 3 に示す. 最も高く設置された条件において, キーボードが設置されている平面より高さ 40 cm に文字入力欄が表示される. この高さは市販されている 24 インチのディスプレイをキーボードが設置されている平面に設置した場合における, 画面表示領域の上端の高さと同程度の高さである. 実験参加者は各条件における計測開始前に, ディスプレイの角度およびディスプレイの奥行き位置を最もタイプのしやすい状態へ調整するよう指示された. 実験参加者により調整されたディスプレイの角度は iPad Pro に内蔵されている加速度計を用いて計測された (図 4).

各条件において, 実験参加者は英文 10 文をできる限り速く正確に入力するように指示された. 課題文は MacKenzie ら [9] の英文データセットから無作為に選択された. 実験参加者が課題文と同じ文字列を文字入力欄へ入力した直後に, 文字入力欄が空となり次の課題文が提示された. 実験参加者が入力した文字列に誤字が含まれる場合, 文字入力欄の背景色が赤くなり, 次の課題文へ進めなくなる. したがって, 実験参加者は最終的に入力した文字列を必ず課題

文と一致させる必要がある. なお, 実験参加者が使用したキーボードには方向キーおよび Delete キーが存在しないため, 実験参加者は BackSpace キーをタイプして末尾の文字を消去することでのみ誤字を修正できた.

実験中, 実験参加者の頭部を iPad Pro に内蔵されている赤外線深度カメラを用いて 60 fps にて録画した. 録画した映像を ARKit (Apple 社) [10] により処理することによって, 実験参加者の頭部とディスプレイとの間の距離を算出した. 加えて, 録画された映像より, 実験中における実験参加者のディスプレイと手元との間の視線移動回数を数えた. 実験参加者は各条件における入力を終えるごとに 1 分以上の休憩をとった. 休憩中には, 日本語版簡便法 NASA-TLX [11] のアンケートに回答してもらい, また実験中に思ったことを自由にコメントしてもらった.

実験参加者は各条件における英文のタイピングを 3 セット行った. なお, 条件 (設置位置および表示位置) の提示順による順序効果を取り除くために, 条件の提示順はラテン方格法により実験参加者ごとに決定された. 実験前の説明を含め, 実験全体の所要時間は 1 人あたり約 75 分であった.

## 4. 実験結果

実験から, 実験参加者 1 人あたり課題文 10 文  $\times$  設置位置 3 条件  $\times$  表示位置 3 条件  $\times$  3 セット = 270 文のデータが得られた. このデータより算出した, 視線移動頻度, 入力速度 (CPM: Characters Per Minutes [12]), 余剰タイプ率 (KSPC: KeyStrokes Per Character [12]), 主観的作業負荷 (AWWL: Adaptive Weighted Work Load [11]), 実験参加者の顔部とディスプレイとの間の距離の平均, およびディスプレイの角度を評価指標とした解析を行った.

解析では, 設置位置および表示位置を因子とした二元配置分散分析を行った. 加えて, 設置位置と表示位置から一意に定まるキーボード設置平面と文字入力欄との間の距離 0 cm–40 cm (以降, 絶対高さ) を因子とした一元配置分散分析を行った. 事後検定には Tukey の多重比較法を用いた. また有意水準を 0.05 とした.

### 4.1 視線移動頻度

我々は, ディスプレイと手元との間の視線移動回数および入力文字数の関係 (GPK: Glances Per Keystroke) を次式により定義した.

$$GPK = \frac{\text{総視線移動回数}}{\text{総入力文字数}}$$

以降では, この GPK を視線移動頻度を表す指標として用いる.

設置位置, 表示位置, および絶対高さそれぞれにおける GPK を図 5 に示す. 視線移動頻度が高いほど GPK は高

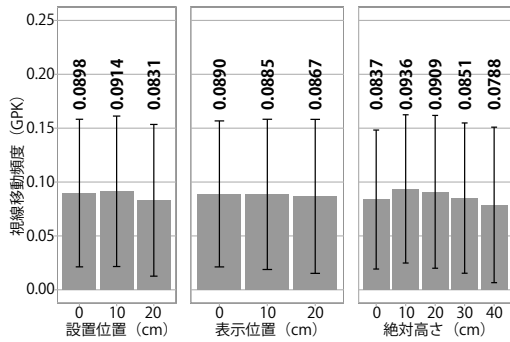


図 5: 視線移動頻度 (GPK) のグラフ。グラフ上部の数値は各条件における平均値を表す。エラーバーは標準偏差を表す。

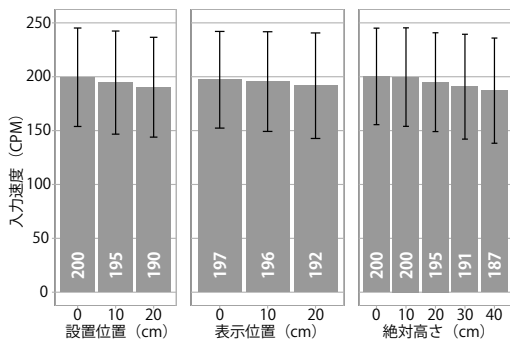


図 6: 入力速度 (CPM) のグラフ。グラフ内の数値は各条件における平均値を表す。エラーバーは標準偏差を表す。

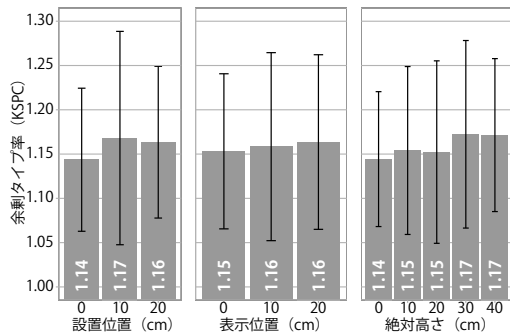


図 7: 余剰タイプ率 (KSPC) のグラフ。グラフ内の数値は各条件における平均値を表す。エラーバーは標準偏差を表す。

くなる。検定の結果、設置位置、表示位置、および絶対高さの主効果は検出されなかった。また、設置位置および表示位置の交互作用は検出されなかった。

#### 4.2 入力速度

設置位置、表示位置、および絶対高さそれぞれにおける CPM を図 6 に示す。入力速度が高いほど CPM は高くなる。検定の結果、設置位置、表示位置、および絶対高さの主効果は検出されなかった。また、設置位置および表示位置の交互作用は検出されなかった。

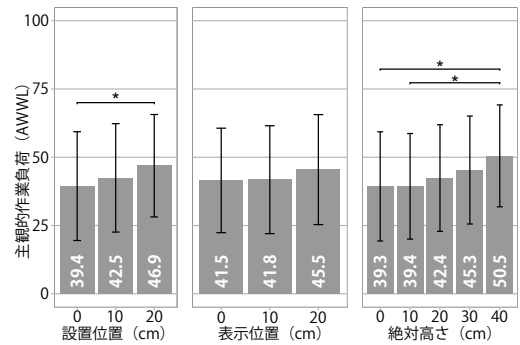


図 8: 主観的作業負荷 (AWWL) のグラフ。グラフ内の数値は各条件における平均値を表す。エラーバーは標準偏差を表す。

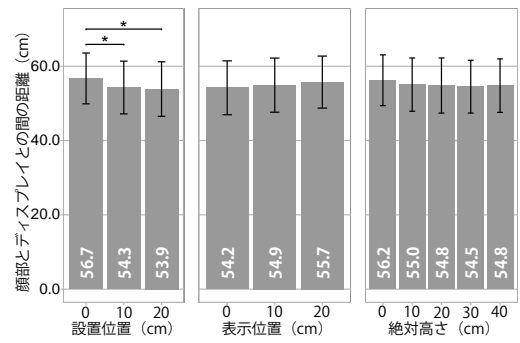


図 9: 顔部とディスプレイとの間の距離のグラフ。グラフ内の数値は各条件における平均値を表す。エラーバーは標準偏差を表す。

#### 4.3 余剰タイプ率

設置位置、表示位置、および絶対高さそれぞれにおける余剰タイプ率を図 7 に示す。誤タイプ数が多いほど KSPC は高くなる。検定の結果、設置位置、表示位置、および絶対高さの主効果は検出されなかった。また、設置位置および表示位置の交互作用は検出されなかった。

#### 4.4 主観的作業負荷

設置位置、表示位置、および絶対高さそれぞれにおける AWWL を図 8 に示す。主観的作業負荷が高いほど AWWL は高くなる。検定の結果、設置位置 ( $p = 2.72 \times 10^{-3}$ ) および絶対高さ ( $p = 4.35 \times 10^{-3}$ ) の主効果が検出された。なお、設置位置および表示位置の交互作用は検出されなかった。事後検定の結果、設置位置 0 cm と 20 cm との間 ( $p = 1.84 \times 10^{-3}$ )、ならびに絶対高さ 0 cm と 40 cm との間 ( $p = 0.0251$ ) および 10 cm と 40 cm との間 ( $p = 5.82 \times 10^{-3}$ ) に有意差が検出された。

#### 4.5 顔部とディスプレイとの間の距離

設置位置、表示位置、および絶対高さそれぞれにおける顔部とディスプレイとの間の距離の平均を図 9 に示す。検定の結果、設置位置 ( $p = 5.39 \times 10^{-4}$ ) の主効果が検出

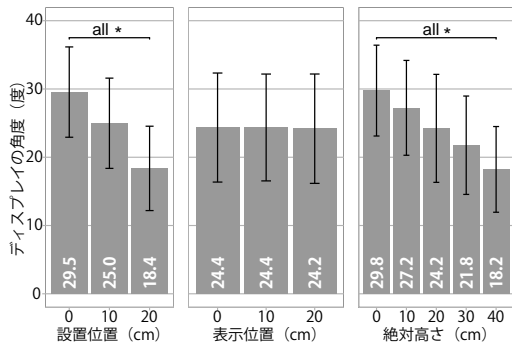


図 10: ディスプレイの角度のグラフ。グラフ内の数値は各条件における平均値を表す。エラーバーは標準偏差を表す。

された。なお、設置位置および表示位置の交互作用は検出されなかった。事後検定の結果、設置位置 0 cm と 10 cm との間 ( $p = 6.01 \times 10^{-3}$ ) および 0 cm と 20 cm との間 ( $p = 9.46 \times 10^{-4}$ ) に有意差が検出された。

#### 4.6 ディスプレイの角度

設置位置、表示位置、および絶対高さそれぞれにおけるディスプレイの角度を図 10 に示す。検定の結果、設置位置 ( $p = 2.20 \times 10^{-16}$ ) および絶対高さ ( $p = 2.20 \times 10^{-16}$ ) の主効果が検出された。なお、設置位置および表示位置の交互作用は検出されなかった。事後検定の結果、全ての設置位置の組み合わせ ( $p < 0.001$ ) および全ての絶対高さの組み合わせ ( $p < 0.001$ ) に有意差が検出された。

#### 4.7 実験参加者のコメント

実験参加者全員が「普段と使用しているキーボードと形状が異なるためタイプが難しい」および「普段は英文を入力しないため、英文のタイプが難しい」と報告した。

### 5. 考察

本節では、実験結果を考察する。

#### 5.1 筋運動量と主観的作業負荷とのトレードオフ

実験により、絶対高さが低いとディスプレイの角度が大きくなることが示された。絶対高さが低い場合、ユーザはディスプレイを見下ろした状態となる。したがって、見下ろした視線とディスプレイの表示面が垂直となるようにディスプレイの角度を調整するため、絶対高さが低いほどディスプレイの角度が大きくなると考えられる。ディスプレイの角度が大きい場合にはユーザの頸部の筋運動量が大きくなる [2] ことから、ディスプレイを低く設置することにより、ユーザは疲れやすくなると考えられる。しかし、今回の実験により、絶対高さが低い条件、特に設置位置が低い条件にてユーザの主観的作業負荷が小さいことが示された。そのため、ディスプレイの配置の高低に関して、頸部の筋運動量およびユーザの主観的作業負荷にはトレード

オフの関係があると考えられる。

#### 5.2 タッチタイピングの練度

今回の実験において、実験参加者全員が「普段と使用しているキーボードと形状が異なるためタイプが難しい」および「普段は英文を入力しないため、英文のタイプが難しい」と報告したことから、ユーザが普段使用しているキーボードを用いて日本語を入力した場合におけるタッチタイピングの練度を調査する必要があると共に、キーボードの形状や言語による文字入力への影響を調査する必要がある。

#### 5.3 顔部とディスプレイとの間の距離

ディスプレイを用いた作業において、顔部とディスプレイとの間の最適な距離は 60.0 cm–100.0 cm であることが示されている [7]。顔部とディスプレイとの間の距離が近い状態において作業を続けることは眼が寄り目に近い状態となるため、眼精疲労の原因となりうる [13]。今回の実験により、顔部とディスプレイとの間の距離は全条件において 60.0 cm 以下であり、設置位置 10 cm および 20 cm ではさらに近くなることが示された。これは Straker [7] による、設置位置が低いほど顔部とディスプレイとの間の距離が近くなる、という報告とは異なる結果となった。実験参加者の年齢層および画面が低い位置に固定されるラップトップコンピュータの使用経験による影響など、さまざまな要因が考えられる。したがって、先行研究と異なる結果となったことに対して調査を進める必要がある。

### 6. 応用例

本節では、実験の結果および考察より考えられる、設置位置および表示位置それぞれの影響の大きさに基づく応用例を述べる。

#### 6.1 タイピング訓練のモチベーション維持への応用

今回の実験の結果より、設置位置を低くすると主観的作業負荷すなわち作業困難度が小さいことが示された。タッチタイピングの訓練などのキーボードをタイプする必要がある作業において、主観的作業負荷が小さいことは、ユーザの作業に対するモチベーションの維持に有効であると考えられる。

タッチタイピングの訓練において、訓練を継続することがタッチタイピングの上達に最も有効であると多くの研究にて述べられてきた [14], [15], [16]。したがって、ディスプレイの設置位置が低い環境にてタッチタイピングの訓練を行うことにより、訓練のモチベーションの維持に繋がり、訓練の継続可能性が向上できると考えられる。



## 6.2 文字入力作業における疲労およびストレス防止への応用

考察において述べたように、頸部の筋運動量およびユーザの主観的作業負荷にはトレードオフの関係があると考えられる。このトレードオフの関係には主に設置位置が影響を与えている。一方、表示位置の違いにより主観的作業負荷に違いがみられなかった。したがって、ディスプレイを低く設置し、かつディスプレイ内の上端付近に文字入力欄を表示すれば、ユーザがディスプレイを見下ろした状態となることを防げるため、ユーザは頸部の筋運動量を軽減させ、かつ主観的作業負荷すなわちストレスを軽減できると考えられる。

## 6.3 文字入力におけるユーザ体験向上への応用

絶対高さが低い 0 cm および 10 cm の条件にて主観的作業負荷が小さいことから、ディスプレイにおいて、画面下部へ文字入力欄を表示することにより、ユーザへの負荷を軽減できると考えられる。例えば、お問い合わせフォームおよびアンケートフォームにおいて、文字入力欄をディスプレイの下端付近へ表示することによりユーザの負荷を軽減できれば、フォーム回答におけるユーザ体験の向上が期待できる。そのほかにも、ブラウザの URL 入力欄および検索文字列入力欄など、利用頻度の高い文字入力欄をディスプレイの下端付近に表示すれば、ストレスの蓄積を小さくできるため、ユーザ体験の向上につながると考えられる。

## 7. おわりに

本研究では、ディスプレイの設置位置およびディスプレイ内における文字入力欄の表示位置が文字入力へ与える影響を調査した。実験により、ディスプレイの設置位置 0 cm が設置位置 20 cm よりも主観的作業負荷が小さいことが示された。また、ディスプレイ内の文字入力欄の表示位置による文字入力および主観的作業負荷への影響が小さいことから、ディスプレイの位置を低くかつ文字入力欄を高い位置に表示することにより、ユーザの疲労を軽減させつつ、ユーザの体験を向上できると考えられる。ただし、今回の実験ではユーザが「普段と使用しているキーボードと形状が異なるためタイプが難しい」および「普段は英文を入力しないため、英文のタイプが難しい」と述べたことから、実験参加者が使用している作業環境に則した実験を行い、本研究の妥当性を検証する。

## 参考文献

- [1] Anna Maria Feit, Daryl Weir, and Antti Oulasvirta. How We Type: Movement Strategies and Performance in Everyday Typing. In *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, pp. 4262–4273, 2016.
- [2] Carolyn Sommerich, Sharon Joines, and Jennie Psihogeis. Effects of Computer Monitor Viewing Angle and Related Factors on Strain, Performance, and Preference Outcomes. *Human Factors*, Vol. 43, No. 1, pp. 39–55, 2001.
- [3] Gwanseob Shin and Sudeep Hegde. User-Preferred Position of Computer Displays: Effects of Display Size. *Human Factors*, Vol. 52, No. 5, pp. 574–585, 2010.
- [4] Hiedar Alyami and Ali M Albarrati. Comparison of Spinal Angles in a Typing Task on a Laptop and a Desktop Computer: A Preliminary Study. *American Journal of Occupational Therapy*, Vol. 70, No. 6, pp. 350020p1–350020p8, 2016.
- [5] 田村啓, 高岡詠子. タイピングにおける動作特性の解析. 情報教育シンポジウム論文集, pp. 155–160. 情報処理学会, 2012.
- [6] 高岡詠子, 杉浦学, 小宮仁志. タイピング動作特性の解析. 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-CE-12, No. 9, pp. 1–14, 2014.
- [7] Leon Straker. Visual Display Units: Positioning for Human Use. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, Vol. 2, pp. 1742–1745, 2006.
- [8] Apple. 先進の Face ID テクノロジーについて - Apple Support. <https://support.apple.com/ja-jp/HT208108/>. (最終閲覧日: 2020 年 10 月 21 日) .
- [9] Scott MacKenzie and William Soukoreff. Phrase Sets for Evaluating Text Entry Techniques. In *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, pp. 754–755, 2003.
- [10] Apple. ARKit - Apple Developer. <https://developer.apple.com/jp/augmented-reality/arkit/>. (最終閲覧日: 2020 年 10 月 21 日) .
- [11] 三宅晋司, 神代雅晴. メンタルワークロードの主観的評価法-NASA-TLX と SWAT の紹介および簡便法の提案-. 人間工学, Vol. 29, No. 6, pp. 399–408, 1993.
- [12] Ahmed Sabbir Arif and Wolfgang Stuerzlinger. Analysis of Text Entry Performance Metrics. In *IEEE Toronto International Conference - Science and Technology for Humanity*, TIC-STH '09, pp. 100–105, 2009.
- [13] Alfred Owens and Karen Wolf-Kelly. Near Work, Visual Fatigue, and Variations of Oculomotor Tonus. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol. 28, No. 4, pp. 743–749, 1987.
- [14] 松山智恵子, 中島豊四郎. タッチタイピングの練習効果の推移と練習の継続性の評価. 椋山女学園大学文化情報学部紀要, Vol. 8, pp. 67–76, 2008.
- [15] 田村啓, 高岡詠子. タイピング学習手法の提案と検証. 情報教育シンポジウム論文集, pp. 119–126. 情報処理学会, 2011.
- [16] 高岡詠子, 橋本知佳. タッチタイピング学習システムを用いたタッチタイピング訓練法に関する研究. 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-CE-106, No. 2, pp. 1–10, 2010.